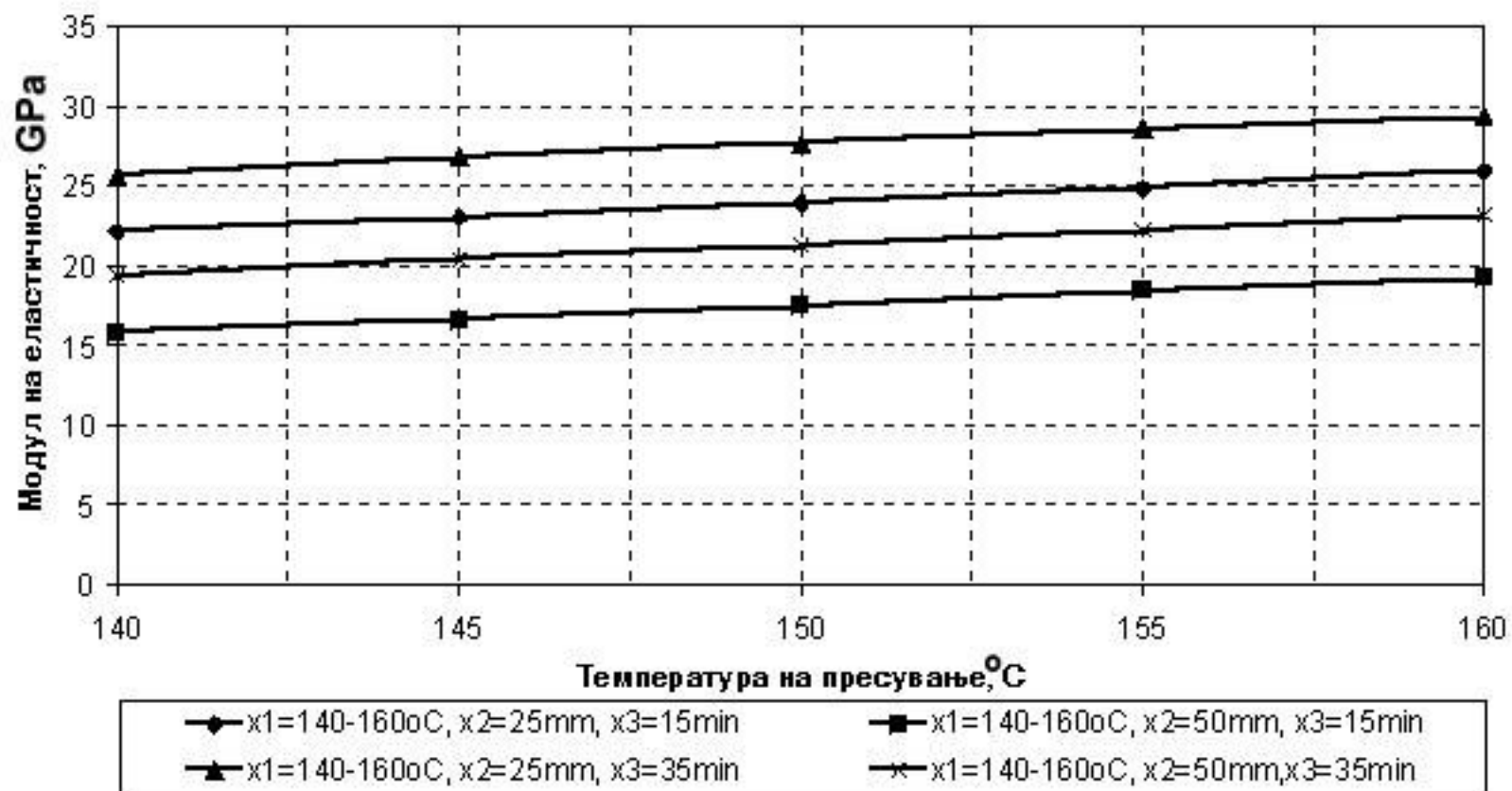


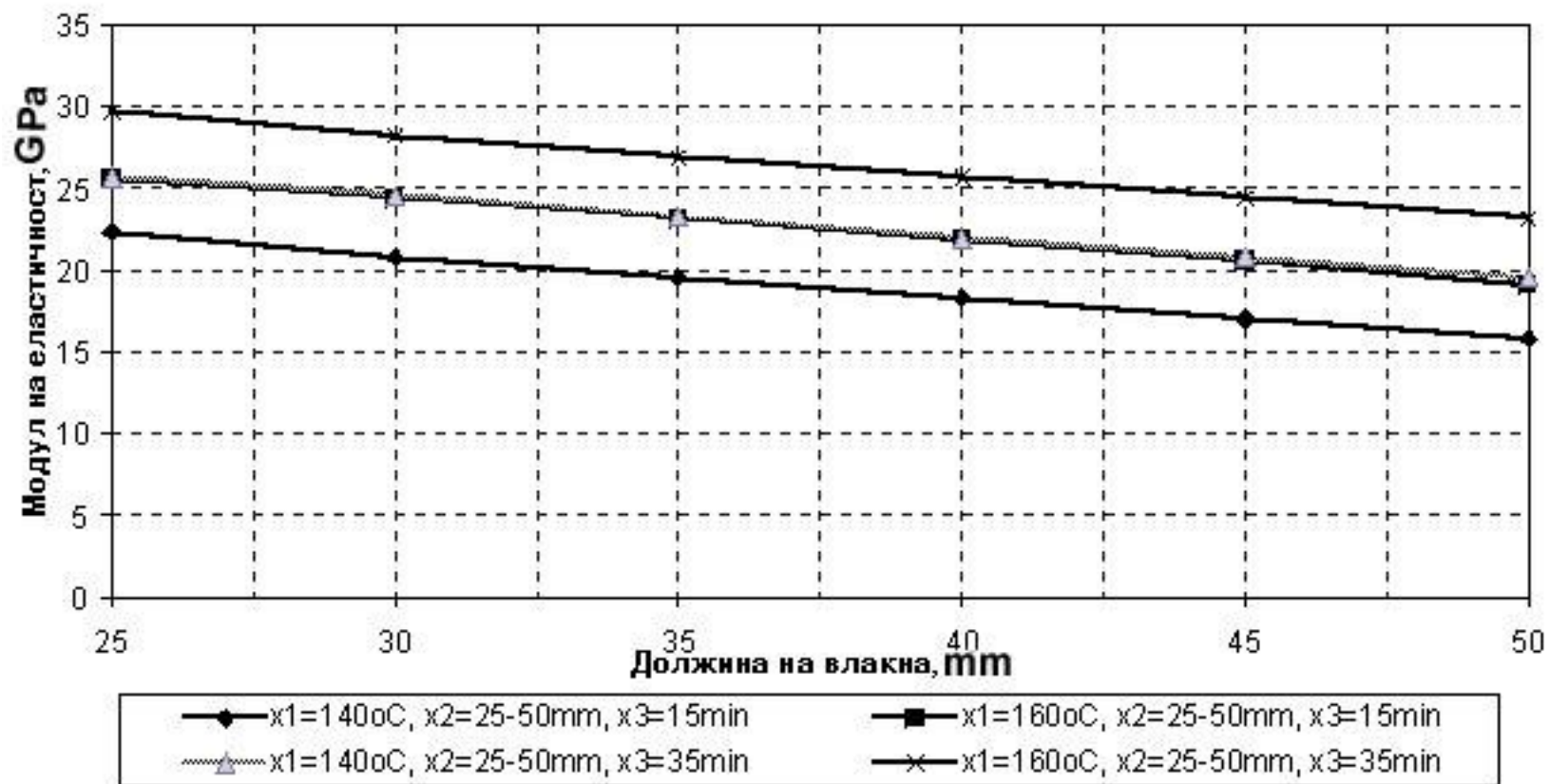
**a.**

Модул на еластичност за епрувети при следни услови: променлива температура, а постојано време на пресување и должина на влакна



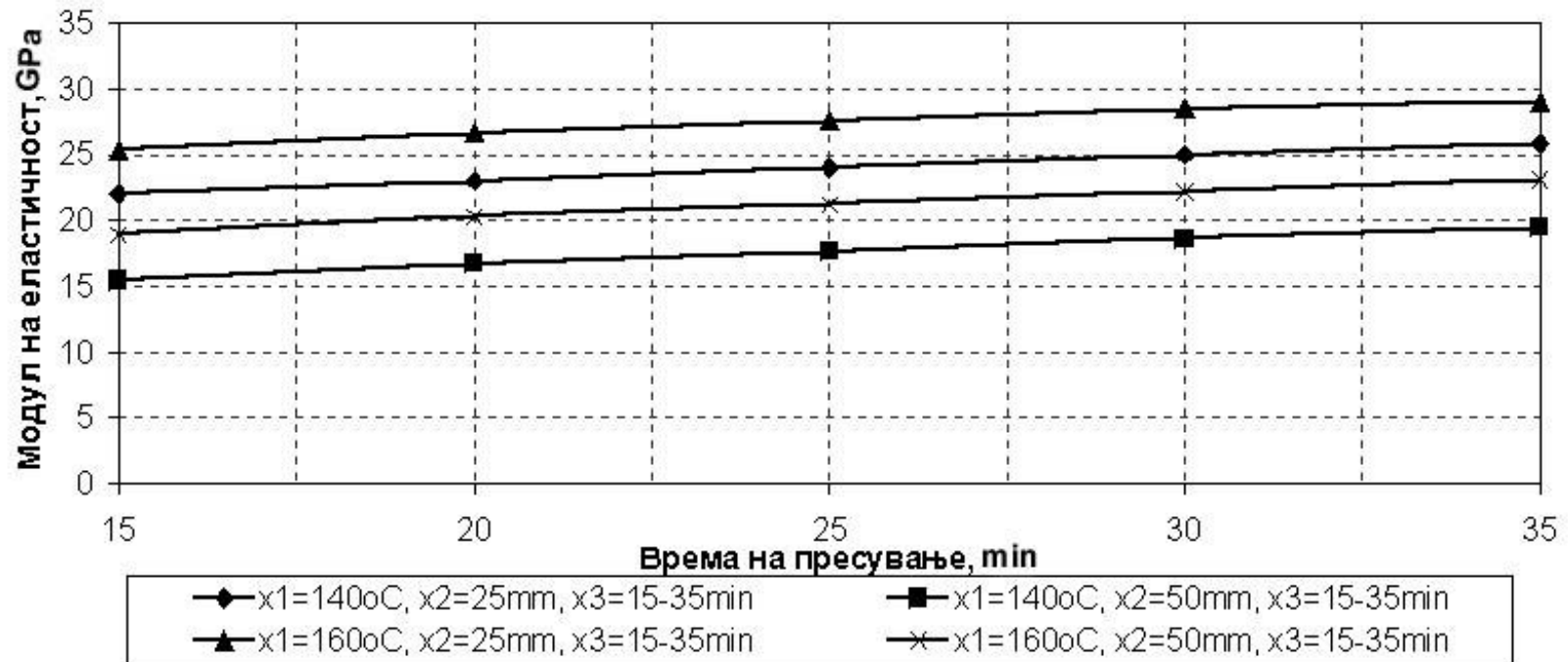
b.

Модул на еластичност на епрувети при услови: променлива должина на влакна, а постојана температура и време на пресување



С.

Модул на еластичност за епрувети при следни услови: променливо време на пресување, а постојана температура и должина на влакна



Слика III.17. Зависност на модулот на еластичност од условите на добивање и од должината на композитот

а. променлива температура, а постојаво време на пресување и должина на влакна

- b.** promenliva dol`ina na vlakna, a postojana temperatura i vreme na presuvawe
- c.** promenlivo vreme na presuvawe, a postojana temperatura i dol`ina na vlakna

#### III.4.2.4. ISPITUVAVE NA MODULOT NA ELASTIČNOST

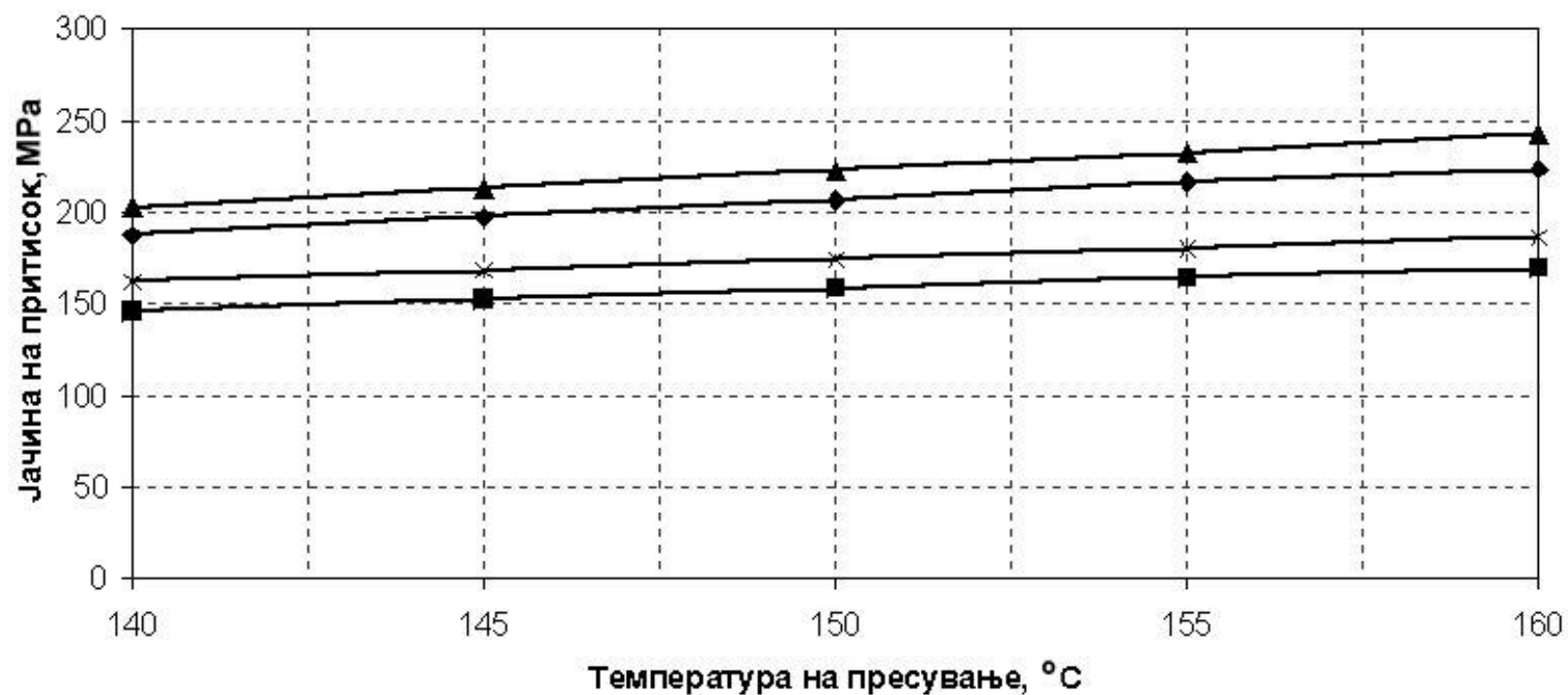
Na slika III. 17 e prikazana zavisnosta na modulot na elastičnost od uslovite na dobivawe na kompozitot i dolžinata na vlakna, odnosno parametrite na procesot: temperatura na presuvawe, dolžina na vlakna i vreme na presuvawe.

Na osnova na prikazane dijagrame, kako i od ravenkata na kodirani promenlivi:  **$f(x) = 22.6125 + 1.8125X_1 - 3.1875X_2 + 1.8875X_3$** , za definirawe na matematički model na procesot na dobivawe na kompozitot, može da se dadat slednive zaključci:

- Najgolemo vlijanje na goleminata na modulot na elastičnost ima dolžinata na vlakna i neizostano vlijanje e obratno proporcionalno na goleminata na modulot na elastičnost.
- Pomalo i približno ednakvo e vlijanieto na temperaturata na presuvawe i vremeto na presuvawe i tie vlijaat pravoproporcionalno na goleminata na modulot na elastičnost.
- Na goleminata na modulot na elastičnost izostanuva vzajemno vlijanje na parametrite na procesot.
- Od dijagramite se zabeležuva porast na modulot na elastičnost za uslovi koga vremeto i temperaturata na presuvawe se na gorno nivo (slika III. 17, c i a) dodeka dolžinata na vlakna e na dolno nivo.

a.

Јачина на притисок за епрувети при услови :променлива температура , а  
постојано време на пресување и должина на влакна



—◆— x1=140-160°C, x2=25mm, x3=15min

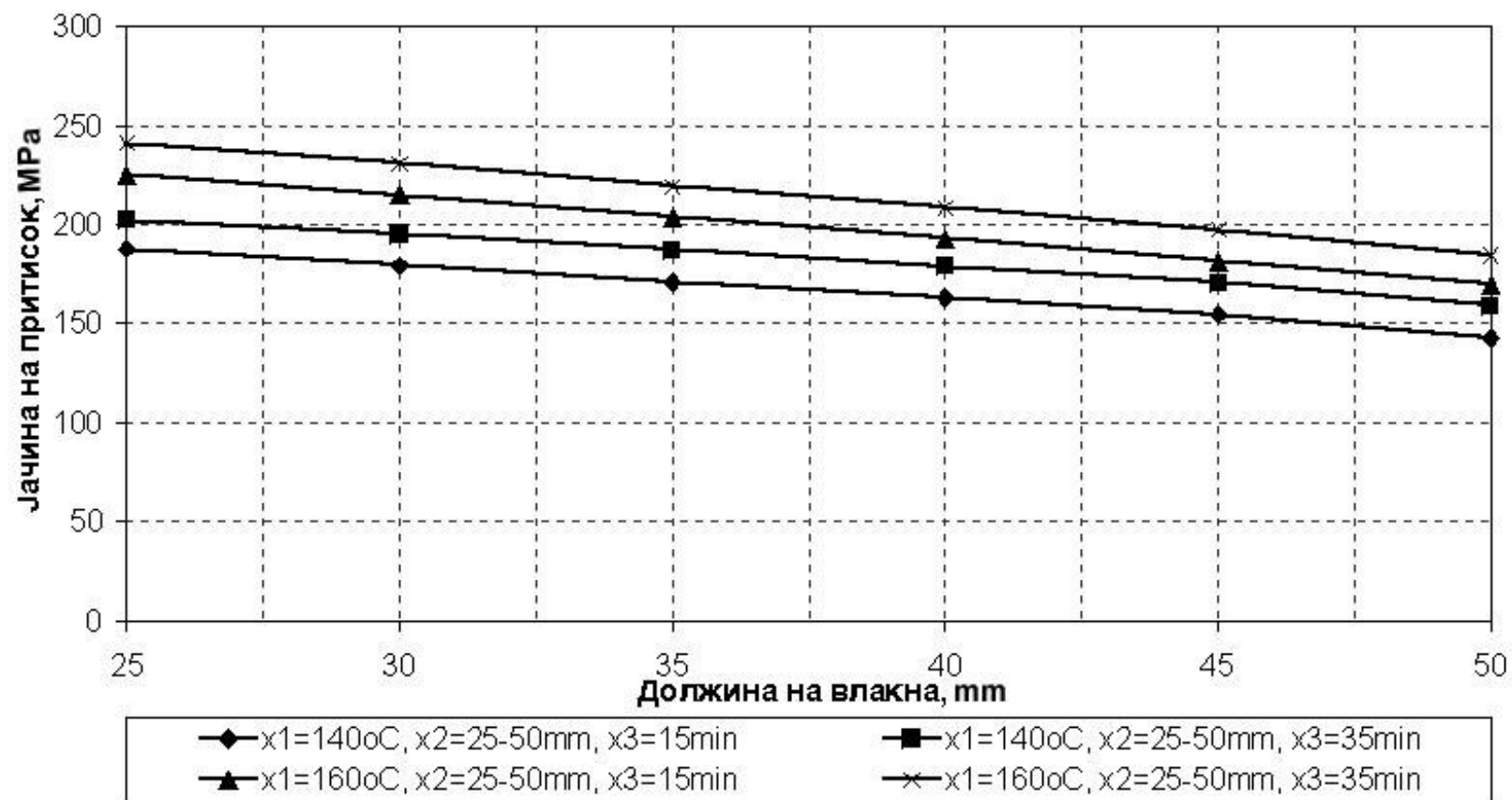
—■— x1=140-160°C, x2=50mm, x3=15min

—▲— x1=140-160°C, x2=25mm, x3=35min

—×— x1=140-160°C, x2=50mm, x3=35min

b.

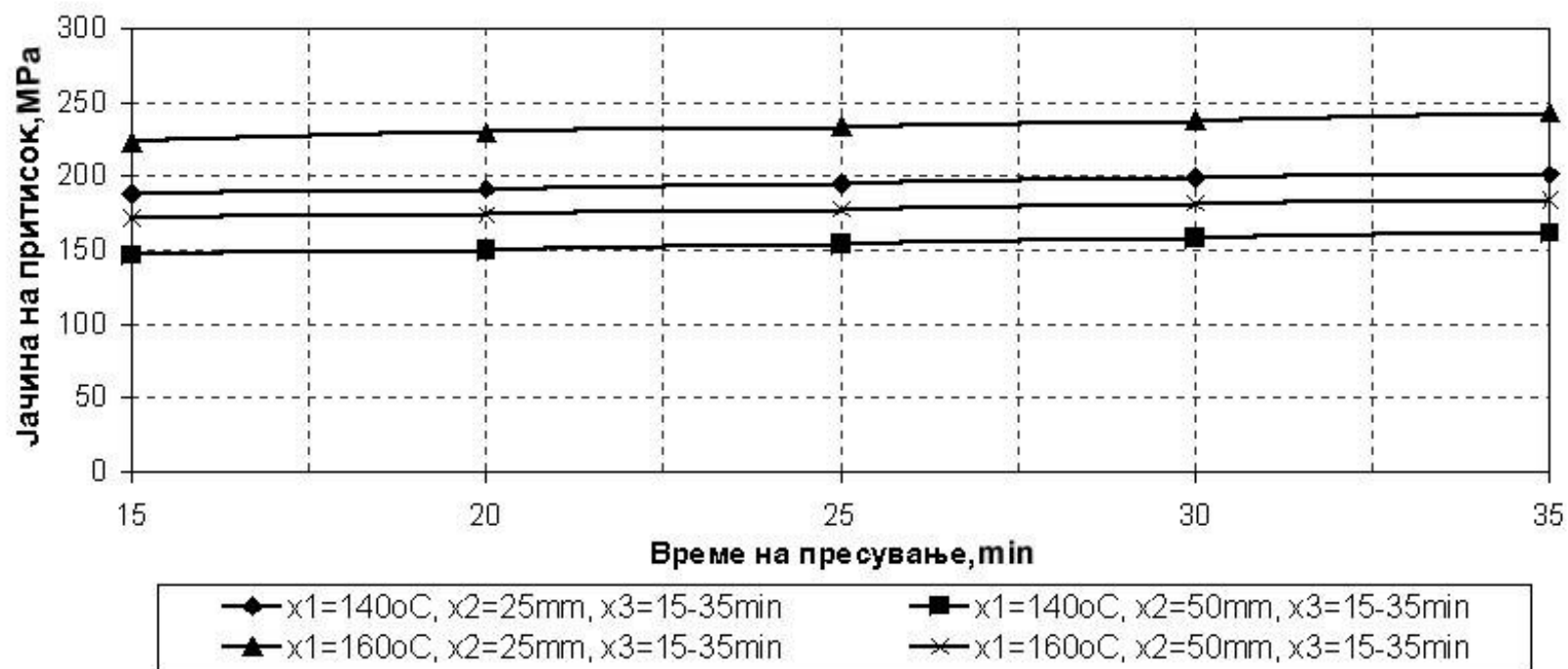
Јачина на притисок на епрувети при следни услови: променлива должина на влакна, а постојана температура и време на пресување





C.

Јачина на притисок за епрувети при следни услови : променливо време на пресување, а постојана температура и должина на влакна



**Слика 18.** Зависност на јаџината на притисок од условите на добивање и од дол`ината на композитот

- promenлива температура, а postojavo време на presuvawe и дол`ина на vlakna
- promenлива дол`ина на vlakna, а postojana температура и време на presuvawe
- promenливо време на presuvawe, а postojana температура и дол`ина на vlakna

### III.4.2.5. ISPITUVAVE NA JA^INATA NA PRITISOK

Na slika III.18 e prika`ana zavisnosta na ja~inata na pritisok, od uslovite na dobivawe na kompozitot i dol`inata na vlakna, odnosno parametrite na procesot: temperatura na presuvawe, dol`ina na vlakna i vreme na presuvawe.

Na osnova na prika`anite dijagrami, kako i od ravenkata na kodirani promenlivi:  **$f(x) = 190.575 + 15.625X_1 - 24.25X_2 + 7.975X_3 - 3.7X_1X_2$** , za definirawe na matemati~kiot model na procesot na dobivawe na kompozitot, mo`e da se dadat slednive zaklu~oci:

- Najgolemo vlijanie vrz na ja~inata na pritisok ima dol`inata na vlakna i nejzinoto vlijanie e obratno proporcionalno.
- Pomalo e vlijaniето na temperaturata na presuvawe, a najmalo e vlijaniето na vremeto na presuvawe, i nivnoto vlijanie e pravoproporcionalno na goleminata na ja~inata na pritisok.
- Vzaemnoto vlijanie na temperaturata na presuvawe i dol`inata na vlakna e obratno proporcionalno na goleminata na ja~inata na pritisok. Od dijagramite dadeni na slika III. 18 a i b, se zabele`uva porast na goleminata na ja~inata na pritisok za uslovi koga ovie dva parametri se istovremeno na gorno nivo.
- Najvisoka vrednost za ja~inata na pritisok e zabele`ana pri dolno nivo na dol`ina na vlakna, koga vremeto i temperaturata na presuvawe se na gorno nivo (slika III. 18 b).

### III.4.2.6. PRIMENA NA DOBIENITE REGRESIONI RAVENKI VO REALEN EKSPERIMENT

Za da se oceni validnosta na dobienite regresioni ravenki, vo ispituvaniot opseg na procesnite parametri, napraven e test proverka.

Izraboteni se kompoziti vo zadadeniot re`im na procesot i ispitani se mehani~kite osobini na

kompozitnite otpresoci. Imeno, pres masa so sodr`ina na vlakna 62 % i dol`ina 33 mm procesirana e na temperatura 153 °C i vreme na presovawe 23 min. Dobienite rezultati od ispituvawata sporedbeno so presmetanite vrednosti od regresionite ravenki od eksperimentot se dadeni vo tabela III.21.

**Tabela III.21.** Mehani~ki karakteristiki na kompozitite proizvedeni vo zadadeniot re`im

Kompoziti proizvedeni pri: $T=153^{\circ}\text{C}$ , $l=33\text{mm}$ , $t=23\text{min}$				
Ja~ina na udar an 10, $\text{KJ/m}^2$	Ja~ina na udar an 15, $\text{KJ/m}^2$	Ja~ina na svitkuvawe, MPa	Modul na elasti~nost, GPa	Ja~ina na pritisok, MPa
eksperimentalno dobieni vrednosti				
108,9	89,7	226,4	25,6	214,7
opredeleni spored regresionite ravenki				
118,6459	93,158	214,8286	23,9197	202,7971

Spored rezultatite vo tabelata III.21 mo`e da se zaklu~i deka vrednosta na funkcijata na odziv opredelena so regresionite ravenki na planiraniot eksperiment sosema zadovolitelno mo`e da se primeni za predviduvawe na svojstvata na kompozitot, proizveden vo analiziraniot opseg na procesni parametri. Imeno, otstupuvawata od eksperimentalno opredelenite karakteristiki iznesuvaat 2,2 - 6,8 %.



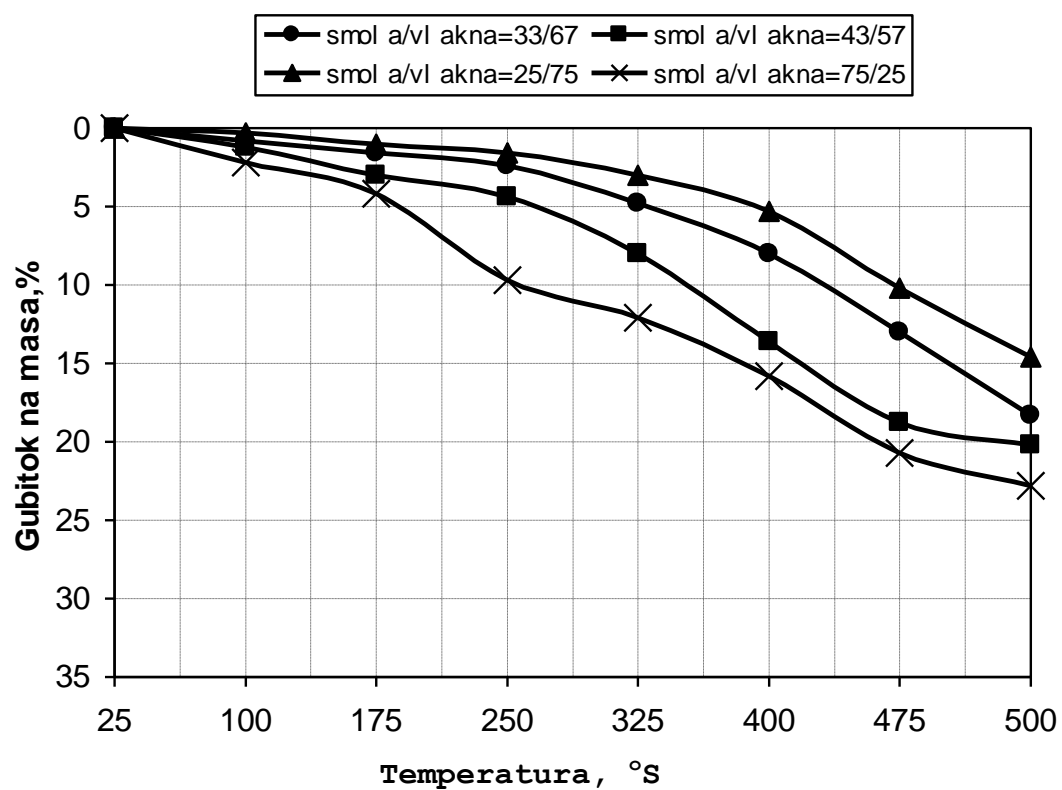
**Od ispituvawata i rezultatite dobieni so metodata na planiran eksperiment se zaklu~uva sledното:**

- Optimalni procesni parametri za proizvodstvo na kompozitot se:
  - temperatura na presuvawe **160 °C,**
  - dol`ina na vlakna **25 mm**
  - vreme na presuvawe **25 min**
- Kompozitot na baza na fenolna smola zajaknata so jaglerodni vlakna, proizveden pri dadenite procesni parametri i odbranata dol`ina na seckani vlakna gi ima slednite mehani~ki svojstva:
  - Ja~ina na svitkuvawe **247 MPa**
  - Modul pri svitkuvawe **27,6 GPa**
  - Ja~ina na pritisok **234 MPa**
  - Ja~ina na udar
    - an 10 **110 kJ/m<sup>2</sup>**
    - an 15 **91 kJ/m<sup>2</sup>**

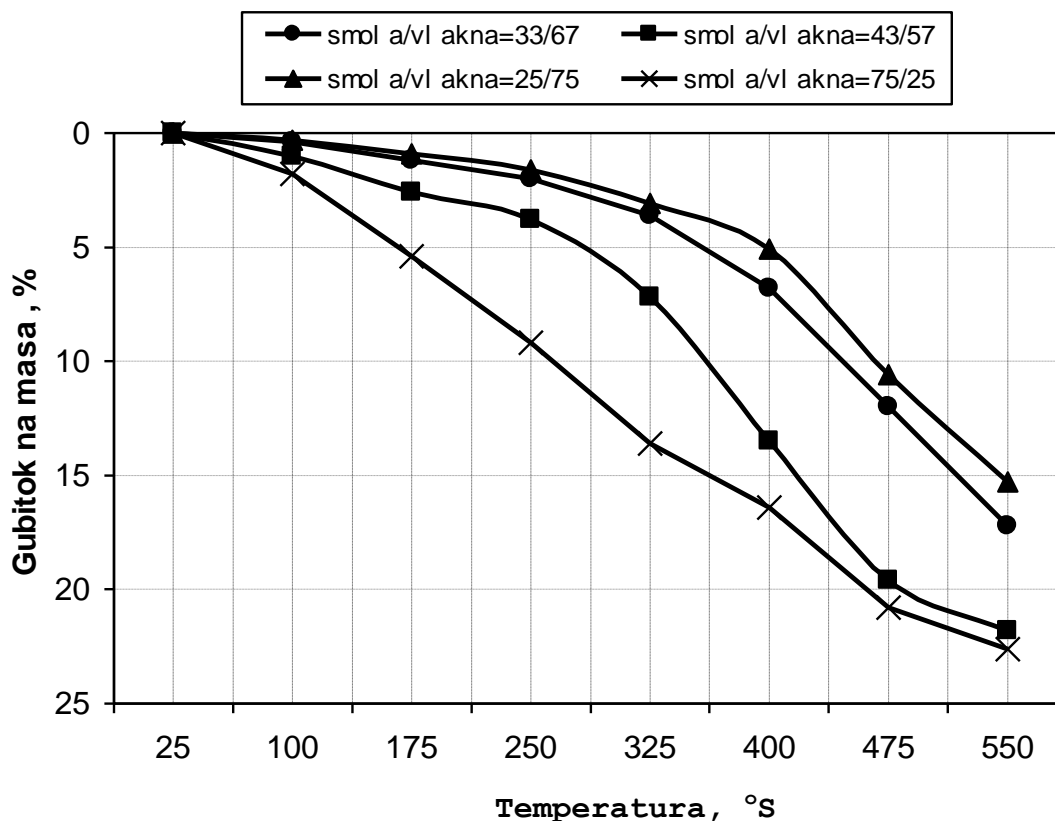
### III.5. TERMI^KI SVOJSTVA NA PROIZVEDENITE KOMPOZITI

Napravena e termogravimetriska analiza na kompozitite so sodr`ina na jaglerodni vlakna 25%, 45%, 57%, 67% i 75% (mas) i so dol`ina na vlakna 25 mm i 50 mm.

Na slika III.19 i III.20 se dadena rezultatite od ispituvawata na termi~kata degradacija na kompozitite so razli~na sodr`ina na vlakna (pri brzina na zagrevawe od 20 °C/min) .



**Slika III.19.** Termi~ka degradacija na kompoziti so razli~na  
sodr`ina na vlakna so l=25 mm



**Slika III.20.** Termična degradacija na kompoziti so različna  
sodržina na vlakna so  $l=50$  mm

Vo tabelite III.22 i III.23 se dade ni rezultate od gubitokot na masa na čistata smola i kompozitite so različna sodržina i dolžina na vlakna.

**Tabela III.22.** Gubitok na masa na smolata i na kompozitite  
so dolžina na vlakna 25 mm

T, °C	$\Delta m, \%$				
	Smola DX 30	kompozit so različna sodržina na vlakna			
		25	57	67	75
0-250	15	9,7	4,4	2,4	1,6
250- 325	1,2	2,4	3,6	2,4	1,4
325-	1,3	3,7	5,6	3,2	2,3

400					
400- 500	5,7	7,0	6,6	10,3	9,3

**Tabela III.23.** Gubitok na masa na smolata i na kompozitite so dol`ina na vlakna 50 mm

T, °C	Δ m, %				
	Smola DX 30	kompozit so razli~na soedr`ina na vlakna			
		25	57	67	75
0-250	15	5,4	3,8	2	0,9
250- 325	1,2	4	3,4	1,6	1,5
325- 400	1,3	3,8	5,3	3,2	2
400- 500	5,7	6,2	8,3	10,4	10,2

Od TG analizite mo`e da se zaklu~i deka soedr`inata na vlakna vo kompozitite vlijae na nivnata termi~ka destrukcija. Dol`inata na vlakna ne vlijae na termi~kata destrukcija na kompozitite.

Dobienite rezultati poka`aa deka kompozitite so pogolema soedr`ina na vlakna se razgraduvaat na povioka temperatura. Temperaturata na intenzivna termi~ka razgradba iznesuva soodvetno 350 °S vo sporedba so 250 °S kaj kompozitite so pomalo koli~estvo vlakna. Vo temperaturnoto podra~je od 250 °S do 400 °S gubitocite na masa na kompozitite so pogolemo koli~estvo na vlakna se zna~itelno pomali vo sporedba so kompozitite so pomalo koli~estvo na vlakna. Treba da se odbele`i deka gubitokot na masa na ~istata smola e mnogu pogolem vo sporedba so kompozitite zajaknati so vlakna. Isto taka gubitokot na masa kaj kompozitite so pogolema soedr`ina na vlakna e pomal vo sporedba so kompozitite so pomala soedr`ina na vlakna. Pri temperatura od 500 °S gubitokot na masa na kompozit so soedr`ina na vlakna od 75% iznesuva 14,6%,

dodeka kaj kompozit so sodr`ina na vlakna od 25% iznesuva 22,8%.

Ispitana e temperaturnata izdr`livost po Martens za site kompozitni otpresoci i site se izdr`livi na temperaturi poviški od **210 °S**.

Vo odnos na toplinska postojanost na kompozitite, ispituvawata poka`aa deka tie gi zadovolvuvaat kriteriumite za visokotemperaturna primena.

#### IV. ZAKLU^OK

Od eksperimentalnite istra`uvawa vo ovoj trud mo`e da se zaklu~i slednoto:

1. Vrzi osnova na termi~ka karakterizacija na dva tipa fenolni smoli izvr{en e izbor na ablativna fenol-formaldehidna smola za proizvodstvo na pres masa so jaglerodni vlakna za visokotemperaturna namena.
2. Od ispituvawata na kompozitite izraboteni od pres masi so razli~ena sodr`ina na vlakna opredelen e optimalniot soodnos vlakno/smola za proizvodstvo na pres masa, koja bi se prerabotuvale vo kompoziten materijal so metodata na direktno presuvawe, kako i na~inot na podgotovka na istata.
3. Vrzi baza na rezultatite od matemati~ki planiranot eksperiment, pri {to se proizvedeni 200 ispitni kompozitni plo~i, opredeleni se optimalnite parametri za procesirawe na pres masata i optimalnata dol`ina na jaglerodnite vlakna.
4. Analizirani se mehani~kite i termi~kite svojstva na kompozitite, pri {to onie proizvedeni pri



optimalnite tehnološki parametri celosno gi zadovoljuvat barabata za visoki performansi na kompozitite od ovoj tip.

5. Od pres masata so optimalen soodnos vlakno/smola i procesirana pod optimalni uslovi, proizvedeni se mlaznici za protivgradni raketi vo *Eurokompozit-Prilep*. Tie se ispitani vo uslovi na eksploatacija i konstatirano e deka napolno gi zadovoljuvat barabata za ablativna visokotemperaturna namena.
6. Usvoenata pres masa na baza na ablativna fenolna smola i jaglerodni vlakna gi zadovoluva po{iroko i barabata za kompoziti nameneti za razli~ni sklopovi-delovi vo voenata, avionskata i grade`nata industrija.
7. Proizvedenata pres masa ve}e pretstavuva del od proizvodnata programa na *Eurokompozit-Prilep*.

**Slika IV.1.** Mlaznik za protivgradna raketa  
proizveden od usvoenata pres masa

<b>LITERATURA</b>
-------------------

1. E. Fitzer: *Carbon fibers and their composites*, Springer-Verlag, Berlin, 1988
2. R.M.Gill: *Carbon fibers in composite materials*, ILIFFE, 1972
3. [http:// www.etcusa.com/hpc/composit.htm](http://www.etcusa.com/hpc/composit.htm)
4. [http:// www. netcomposites.com](http://www.netcomposites.com)
5. [http:// www.cellobond.com/noframe/textonly.html](http://www.cellobond.com/noframe/textonly.html)
6. [http:// www.matwebnew.matweb.com/composites.htm](http://www.matwebnew.matweb.com/composites.htm)
7. [http:// www.materials by design.com](http://www.materialsbydesign.com)
8. R.L.McCullough: *Concepts of fiber – resin composites*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1971
9. K.K. Chawla: *Composite materials science and engineering*, Springer-Verlag, New York, 1985
10. S. M. Lee: *International encyclopedia of composites, Volume 2*, VCH Publishers, New York, 1990, str. 390-401

- 11.J. Indov: *Konstruiranje i sastav polimernih kompozita*, Savjetovanje polimerni kompoziti, 2001, Zagreb, str. 1-6
- 12.S.K. De, J.R. White: *Short fibre – polymer composites*, Woodhead publishing limited, Cambridge, 1996
- 13.M.O.W. Richardson: *Polimer Engineering composites*, Applied science publishers ltd, London, 1977
- 14.A. Kelly: *Strong Solids*, 2nd edn, Oxford University Press, 1973
- 15.M.A. Abrahams and J. Dimmock: *Plastics and Polymers*, June, 187, 1971
- 16.J. Philip Mason, J.F. Manning: *The technology of plastics and resins*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1952
- 17.A.X. Schmidt, C.A. Marlies: *Principles of high-polymer theory and practice*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1948
18. Nau~no-issledovateliskogo instituta plasti~eskih mass: *Plasti~eskie massi*, Izdatelistvo Himia, Moskva, 1970
19. V.E.Guli: *Struktura i pro~nosti polimerov*, Izdatelistvo Himia, Moskva, 1971
- 20.W. Fritz: *Carbon fibers and their composites*, First seminar on carbon materials, 1985, Vinca, str.1-23
- 21.J. Delmonte : *Tehnology of carbon and graphite fiber composites*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981
- 22.Bakelite: *Moulding compounds delivery programme*, prospekten materijal na firmata, 1999
- 23.[http:// www.ecr.mu.oz.au/~chemeng/phenol.htm](http://www.ecr.mu.oz.au/~chemeng/phenol.htm)
- 24.[http:// www.phenolics.org/products/PhenolicNL.htm](http://www.phenolics.org/products/PhenolicNL.htm)
- 25.B. Wielage, A. G. Odeshi, H. Mucha : *An initio investigation of carbon fibre reinforced plastics applying phenolic resins*, ICCM-12, Paris, 1998 (CD)
- 26.A. Knop, W. Scheib: *Chemistry and application of phenolic resins*, Springer-Verlag, Berlin, 1979

27. [http:// www.gp.com/chemical/phenolics.html](http://www.gp.com/chemical/phenolics.html)
28. S. M. Lee: *International encyclopedia of composites, Volume 4*, VCH Publishers, New York, 1990, str. 97-105
29. [http://www.durez.com/phenolic\\_molding/processing.html](http://www.durez.com/phenolic_molding/processing.html)
30. [http:// www.durez.com/phenolic\\_molding/technical.html](http://www.durez.com/phenolic_molding/technical.html)
31. R.W. Martin: *The chemistry of phenolic resins*, John Wiley&Sons, New York, 1956
32. J.A. Brydson: *Plastics materials*, The Whitefriars Press, london, 1975
33. P.O'Brart: *Phenolics in the building Industry*, BPF Composites Congress, 1992, Manchester, str. 45-50
34. R. McCarthy: *Composite blades for regional aircraft*, BPF Composites Congress, 1992, Manchester, str. 157-162
35. S. M. Lee: *International encyclopedia of composites, Volume 1*, VCH Publishers, New York, 1990, str. 97-105
36. A.Kelly and J.Tyson: *J. Mech. Phys. Solids*, 13,329, 1965
37. S. Varghese, P. Yadav, S.K. Nema : *Investigation of thermal properties of carbon fibre composite with phenolic-epoxy*, ICCM-12, Paris, 1998 (CD)
38. P. Jovceski, M. Markusoski: *Uticaj matrice na prekidnu cvrstocu ugljenicnih vlakana*, Savjetovanje Vlaknima ojacani kompoziti, 1987, Novi Sad, str. 10/1-10/10
39. K.L.Forsdyke: *The effect of water apsorption on the mechanical performanceof glass reinforced, phenolic matrix composites*, BPF Composites Congress, 1992, Manchester, str. 89-96
40. Torayca: *Tehcnical reference manual*, prospekten materijal na firmata, 1988
41. Torayca: *Technical data sheet*, prospekten materijal na firmata, 1997
42. Soficar: *Think carbon fibre*, prospekten materijal na firmata, 1996
43. S.N. Sautin: *Planirovanie eksperimentov v himii i himi~eskoi tehnologii*, Izdatelistvo Himia, Leningrad, 1973

- 44.M. Opalicki: *Kemoreologija duromera*, Polimeri, 1996, Zagreb, str. 75
- 45.M. Stojceski: *Reolosko ponasanje fenol-formaldehidne smjese za prasanje tijekom umrezivanja*, Polimeri, 1995, str. 158-161
- 46.D. Guguc: *Neke mogucnosti primjene ugljicnih vlakana pri konstruiranju laminatnih oplocenja*, Savjetovanje Vlaknima ojacani kompoziti, 1987, Novi Sad, str. 08/1-08/7
- 47.Bakelite: *Moulding compounds delivery programme*, prospekten materijal na firmata, 1997
- 48.HE Addabo, AJ Rojas and RJJ Williams, *Polym. Eng. Sci.*, 19, 835, 1979
- 49.RJJ Williams, AJ Rojas, JH Marciano, MM Ruzo and HG Hack, *Polym. Plast. Tehnol. Eng.*, 24, 243, 1985
- 50.R. Kruger: *Vlaknima ojacani kompoziti*, Savjetovanje Vlaknima ojacani kompoziti, 1987, Novi Sad, str. 12/1-12/12
- 51.A. Kelly and G.J. Davies: *Metallurgical Reviewes*, 10(37), 1, 1965
- 52.N.J.Parratt:*Fibre-reinforced Materials technologu*, Van Nostrand/Reinhold, London, 1972
- 53.H. Krenchel: *Fibre Reinforcement*, Akademisk Forlag, Copenhagen, 1964
- 54.B. Harris and D. Cawthorne: *Plastics and Polymers*, Oct., 209,1974
- 55.K. Lees: *Polym. Eng. Sci.*, 8, 195, 1968
- 56.E.Z. Stowell and T.S. Liu: *J. Mech. Phys. Solids*, 9, 242, 1961
- 57.P.E. Chen: *Polym. Eng. Sci.*, 11, 51, 1971
- 58.M.G. Bader and W.H. Bower: *Composites*, July, 150, 1973
- 59.
- 60.J. Arvanitoyannis, E. Psomidau, *J.Appl.Polym.Sci.*, v.51,N.11.1883-1899, 1994
- 61.T. Stecenko, M. Stevanovic: *Karakteristike savijanja kompozita ugljenicna vlakna/epoksidna smola*, Savjetovanje Vlaknima ojacani kompoziti, 1987, Novi Sad, str. 17/1-17/4

